



Kvävemineralisering i ekologiska växthus

Amanda Ekblom Käck

Självständigt arbete • 15 hp

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap (LTV)

Institutionen för Biosystem och Teknologi

Trädgårdsingenjör - odling

Alnarp 2026



Kvävemineralisering i ekologiska växthus

Nitrogen mineralization in organic greenhouse systems

Amanda Ekblom Käck

Handledare:	Anna Karin Rosberg, Sveriges Lantbruksuniversitet, institutionen för Biosystem och Teknologi
Examinator:	Beatrix Alsanius, Sveriges Lantbruksuniversitet, institutionen för Biosystem och Teknologi
Omfattning:	15 hp
Nivå och fördjupning:	Grundnivå, G2E
Kurstitel:	Självständigt arbete i trädgårdsvetenskap
Kurskod:	EX0844
Program/utbildning:	Trädgårdsingenjör - Odling
Kursansvarig inst.:	Biosystem och Teknologi
Utgivningsort:	Alnarp
Utgivningsår:	2026
Upphovsrätt:	Alla figurer används med utgivarens tillstånd.
Nyckelord:	Kväve, mineralisering, ekologisk odling, växthus, växtproduktion, prediktionsmodeller

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap (LTV)
Institutionen för Biosystem och Teknologi

Sammanfattning

Denna litteraturstudie undersöker ämnet mineralisering av kväve i ekologiska växthus. Syftet med studien är att identifiera de faktorer som påverkar processen, undersöka hur mineraliseringsförloppet kan predikteras samt belysa möjligheter till bättre synkronisering mellan mineralisering och kulturens behov. Metoden som valdes var en kvalitativ litteraturstudie där resultatet från ett antal olika studier sammanställdes och jämfördes. Kvävemineralisering påverkas av temperatur, pH, C:N-kvot och fuktighet. Den mest beprövade metoden för att förutspå mineraliseringsförloppet var baserad på första ordningens kinetik-modeller, i vilka det antas att mineraliseringstakten står i proportion mot mängden mineraliserbart kväve initialt.

Prediktionsmodeller som kan bistå med vägledning kring kvävedynamiken kräver en stor mängd inputdata samt kalibrering för att vara effektiva. Slutsatserna i denna studie är att första ordningens kinetik kan användas för att ge en bra bild av mineraliseringsförloppet och att kunskaper om faktorerna som påverkar mineralisering kan ge odlaren bra grund till stöd för produktionsval. Det konstaterades även att vidare forskning och teknisk utveckling krävs för att ta fram mer användarvänliga och effektiva metoder för att ha bättre styrning över mineraliseringsförloppet i ekologisk odling i växthus.

Nyckelord: Ekologisk odling, första ordningens kinetik, prediktionsmodeller, växtproduktion

Abstract

This literature review explores nitrogen mineralization in organic greenhouse production. The aim of the study is to identify the factors that contribute to mineralization, investigate how the rate of mineralization can be predicted and to illustrate possibilities of improving synchronisation between mineralization and plant needs. The method for this study was a qualitative literature review where the result from a number of different studies was compiled and compared. Nitrogen mineralization is affected temperature, pH, C:N ratio and moisture. The most established method of predicting the mineralization rate is based on a first-order kinetics model in which it is assumed that the mineralization rate is proportional to the initial amount of mineralizable nitrogen. The prediction models that can give some guidance about the nitrogen dynamics demand a great amount of input data and calibration to be effective. The conclusion of this study is that first-order kinetics can be used to illustrate the process of mineralization and that knowledge about the contributing factors can provide the grower with a foundation for making production choices. Further studies and technical advancements is needed to develop a better control of the mineralization process in organic greenhouse production.

Keywords: Crop production, first-order kinetics, organic production, prediction modeling,

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	6
Figurförteckning	7
1. Inledning.....	8
2. Syfte och frågeställningar	9
2.1 Syfte	9
2.2 Frågeställningar.....	9
3. Metod	10
3.1 Genomförande och avgränsning	10
4. Bakgrund.....	12
4.1 Näringstillförsel i ekologiska system.....	12
4.2 Kvävecykeln	13
4.3 Hållbarhet	14
4.4 Abiotiska faktorer.....	15
4.4.1 Temperatur och fuktighet	15
4.4.2 C:N-kvot	15
4.4.3 pH.....	16
4.4.4 Specifik yta	16
4.5 Abiotisk kväve mineralisering	16
5. Resultat	18
5.1 Egenskaper hos organiska gödselmedel.....	18
5.2 Temperatur och fuktighet.....	21
5.3 Prediktionsmodeller	23
5.4 Simulationsmodeller	25
5.4.1 Kvävedynamik i växtföljd inom ekologisk odling (Nitrogen Dynamics in Crop rotation in Ecological Agriculture, (NDICEA)).....	25
5.4.2 Kväveförluster i ekologiska växthus (Nitrogen Losses in Organic Greenhouses (NLOS-OG)).....	26
6. Diskussion	27
7. Slutsatser	30
Referenser	31
Bilaga 1	35

Tabellförteckning

Tabell 1. Exempel på olika gödselmedel som används i hög grad i ekologisk odling och dess fördelning av organiskt och oorganiskt kväve, omarbetad från Jordbruksverkets publikation Växtnäringsstyrning av Ögren (2019).	13
---	----

Figurförteckning

Figur 1. Kvävecykeln. Illustration: Amanda Ekblom Käck, skapad i Canva.....	13
Figur 2: Nettomineralisering från fjädermjöl (FM) (A & B), fjäder- ben- och blodmjöl (MIX) (C & D) samt pelleterat hönsgödsel (PPL) (E & F) (de Jesus et al. 2024).	19
Figur 3: Nettomineralisering under inkubationsförsök i olika temperaturer med jord tagen från två olika platser, Cecil och Tifton (de Jesus et al. 2024).....	22

1. Inledning

När kvävegödselmedel tillförs i ekologiska system är det till stor del i organisk form. Näringen är då bunden i organiskt material och behöver omvandlas till mineralform för att vara tillgänglig för växterna att ta upp. Denna process kallas mineralisering och utförs av mikroorganismer i jorden eller odlingssubstratet (Ashman & Puri 2002). Mineraliseringstakten är svår att förutspå och därmed svår att synkronisera med plantans näringsbehov, speciellt när det gäller kväve som behövs i stora mängder för plantans tillväxt (Tittarelli et al. 2016). I en kontrollerad miljö som ett växthus, där bevattning, temperatur- och fuktighetsregim kan styras på ett annat sätt än på friland finns möjligheten att bättre synkronisera kvävet tillgänglighet med plantans behov (Agehara & Warncke 2005). Att ta fram modeller för att kunna förutsäga mineralisering av kväve är något som många forskare arbetat med för att kunna hjälpa odlare att gödsla i rätt mängd och rätt tid och därmed minska näringsläckage och ekonomiska förluster (Cannavo et al. 2023). I denna studie undersöks de olika faktorer som påverkar mineraliseringen och ett antal sätt att förutspå och synkronisera kväve mineralisering med växters behov jämförs.

2. Syfte och frågeställningar

2.1 Syfte

Syftet med denna studie är att sammanställa och analysera forskning om kväveminalisering i ekologiska växthus med fokus på hur kvävet's tillgänglighet kan anpassas till växternas näringsbehov och minska risken för näringsläckage.

2.2 Frågeställningar

1. Vilka faktorer styr mineraliseringen av kväve i ekologiska växthus?
2. Hur kan man bäst förutspå mineraliseringen av kväve baserat på olika gödselmedel för att optimera planttillförseln?
3. Vad finns det för möjligheter att synkronisera kvävetillgängligheten med plantans behov?

3. Metod

En kvalitativ litteraturstudie valdes som metod med syfte att sammanställa och analysera forskning som gjorts i ämnet för att se om några samband och slutsatser kunde dras från det.

3.1 Genomförande och avgränsning

Mineralisering sker av alla näringsämnen men en avgränsning gjordes till att bara undersöka kvävet mineralisering då det mängdmässigt är ett av de viktigaste näringsämnena för hortikulturella kulturer.

Sökord som ansågs relevanta för studiens syfte och användes i kombination med varandra var "Kvävemineralisering i ekologiska växthus", "mineralisering av organiska ämnen", "mineralisering av kväve", "prediktionsmodeller", "first-order kinetics", "prediction modeling".

Litteraturstudien fokuserar på ekologiska växthussystem, men litteratur om mineralisering i fält har också inkluderats för att belysa delar av processen som ej bedömdes vara systemspecifika. Studien utgick från förhållanden som råder gällande ekologisk växthusproduktion i Sverige och Nordeuropa. På grund av detta exkluderades exempelvis studier som undersökte regionalt begränsade gödselmedel som guano. Forskning gällande mineralisering av kväve i andra system än växtodlingsproduktion, exempelvis skogsproduktion, exkluderades då det inte ansågs relevant.

Mineraliseringsprocessen av kväve är ett väl utforskat ämne och med hänsyn till arbetets tidsramar var det inte möjligt att granska all forskning som gjorts i ämnet. Därför har ett urval gjorts utifrån vad som ansågs relevant för arbetets syfte och frågeställningar. Först och främst användes sökorden som nämns ovan, därefter gjordes en bedömning utifrån att det skulle beröra växthusproduktion eller att de innehöll resultat som var applicerbara på flera typer av odlingssystem.

Datainsamlingen genomfördes med hjälp av AI-baserade sökmotorer såsom perplexity.ai och asta.allen.ai som utgångspunkt. Litteraturstudien genomfördes iterativt, där nya söksträngar och källor kunde identifieras utifrån studier som redan använts. Det gjordes även sökningar i databasen Google Scholar. Söksträngar från sökningarna som gjordes med hjälp av AI redovisas i bilaga 1. Eftersom AI kan ta fram felaktiga och/eller mindre relevanta sökresultat validerades källorna genom en manuell granskning där publikationskanal och

vetenskaplig granskning kontrollerades. Det gjordes även sökningar i Google scholar på funna källor för vidare validering.

Urvalet begränsades framför allt till vetenskapliga artiklar som blivit utsatta för kollegial granskning men även rapporter från exempelvis Jordbruksverket samt kurslitteratur användes.

4. Bakgrund

Mineralisering är en mikrobiell process som är beroende av odlingsmediets temperatur, fuktighet, pH-värde samt materialets specifika yta. Gödselmedlets C:N-kvot är också en viktig faktor att ta hänsyn till (Jansson 1958; Tate 2020).

4.1 Näringstillförsel i ekologiska system

Ekologisk odling i växthus är reglerat av EU. Sedan 2022 är det inte längre tillåtet att odla i avgränsade bäddar, det vill säga odling i substrat som inte har kontakt med alven. Det finns dock vissa undantag: prydnadsväxter och örter som säljs direkt i kruka till konsumenten, grodd- eller utplanteringsplantor som ska omskolas samt odlad mark som var ekologiskt certifierad före år 2017. De ytorna får dock inte utökas och behöver övergå till odling i levande jord med kontakt med alven senast år 2031 (EU 2018). Dessa regler är dock under utredning och EU-kommissionen ska leverera en ny rapport i ämnet i slutet av 2026, som kan leda till ett nytt lagförslag (KRAV 2026b).

Ekologisk odling bedrivs med hjälp av organiska gödselmedel, i första hand producerade på den egna gården, men på växtodlingsgårdar utan egen produktion av stallgödsel köps organiska gödselmedel in. Gröngödsling, stallgödsel från eventuella djur på gården samt implementering av en god växtföljdsregim är några av de strategier som tillämpas i ekologiska system (Jordbruksverket 2026). Utöver det är det tillåtet att använda stallgödsel som kommer från andra gårdar, vissa pelleterade gödselmedel, restprodukter från exempelvis slakt- och biogasproduktion samt vissa mineralnäringsämnen som ej genomgått någon kemisk behandling (EU 2018; KRAV 2026a).

Fördelningen mellan organiskt och oorganiskt kväve i olika gödselmedel som används i ekologisk odling kan ge en bild av hur viktig mineraliseringen är för plantans potentiella upptag av kväve, (tabell 1). Organiskt kväve är bundet i komplexa föreningar i materialet, exempelvis aminosyror och protein, medan oorganiskt kväve förekommer i de växttillgängliga formerna nitrat (NO_3^-) och ammonium (NH_4^+) (Fogelfors 2015). Mängden oorganiskt kväve i materialet beror på grundinnehållet samt hur det har framställts. Ett komposterat gröngödsel har exempelvis mer oorganiskt kväve än färsk då mikroorganismer har haft möjlighet att bryta ned delar av materialet under komposteringsprocessen. I flytgödsel och urin omvandlas kväve i form av urea snabbt till ammonium innan gödslet börjar användas (Misselbrook & Bittman 2022). Att förbehandla ett gödselmedel med exempelvis rötning medför en stor ökning i oorganiskt kväve; med en procentuell ökning på 50–70% för gröngödsel, men även kompostering

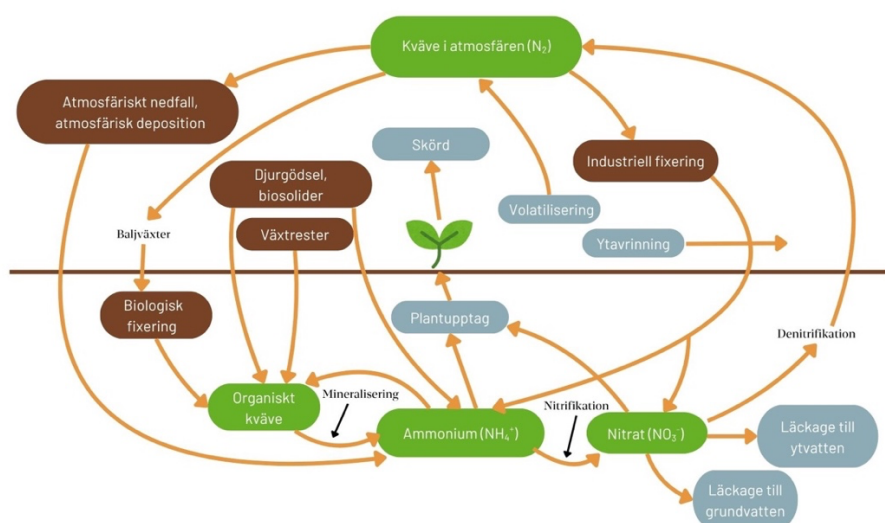
medför en större andel (1–5%) lättillgängligt kväve för växter än vid applicering av färsk gödsel. Att lagra fast nötgödsel under anaeroba förhållanden kan öka mängden oorganiskt kväve med 50%.

Tabell 1. Exempel på olika gödselmedel som används i hög grad i ekologisk odling och dess fördelning av organiskt och oorganiskt kväve, omarbetad från Jordbruksverkets publikation Växtnäringsstyrning av Ögren (2019).

	Organiskt N (%)	Oorganiskt N (%)
Gröngödsling		
färsk	>99	<1
komposterad	95–99	1–5
rötad	30–50	50–70
Nötgödsel		
fast färsk	99	1
fast lagrad aerobt	99	1
fast lagrad anaerobt	50	50
flytgödsel	10–50	50–90
urin	0–30	70–100
Hönskötsel		
torkad pelleterad	80–90	10–20

4.2 Kvävecykeln

Kväve är ett essentiellt näringsämne för växter då det är en central beståndsdel i aminosyror som bygger protein samt i klorofyll som behövs för fotosyntes (Eriksson 2011).



Figur 1. Kvävecykeln. Illustration: Amanda Ekblom Käck, skapad i Canva.

Kvävecykeln (Figur 1) består av en serie processer som sker parallellt med varandra i jorden, (figur 1). För att organiskt bundet kväve ska bli tillgängligt för växterna i form av nitrat- (NO_3^-) och ammoniumjoner (NH_4^+) behöver det genomgå den biologiska processen mineralisering som utförs av mikroorganismer. Parallellt med mineralisering sker immobilisering där kväve i mineralisk form återgår till organisk form genom mikrobiell omsättning (Eriksson 2011). Det första steget i mineraliseringen är aminering, där makromolekyler i organiskt kväve bryts ned till mindre föreningar, exempelvis aminosyror och nukleinsyror. Därefter sker ammonifikation, i vilken heterotrofa¹ mikroorganismer omvandlar aminosyror till ammoniak (NH_3) vilket sedan kan ta upp vätejoner (H^+) i markvätskan och bilda ammoniumjoner (NH_4^+). Immobilisering kan ske både genom biotiska och abiotiska processer men den dominerande formen i hortikulturella system är biotisk immobilisering. Mikroorganismer använder nitrat och ammonium för att bryta ned kol vilket gör näringsämnen som är otillgängliga för växter fram tills att mikroorganismerna dör och det organiska kvävet i deras sammansättning kan mineraliseras igen (Girkin & Cooper 2023). För att få fram den totala mängden oorganiskt kväve som görs tillgängligt för växterna under de två processerna används begreppet nettomineralisering, vilket utgör balansen mellan det som mikroorganismerna tar upp och det de gör tillgängligt för växterna. Det innebär alltså att när bruttomineraliseringen överstiger bruttoimmobiliseringen sker nettomineralisering och kväve blir tillgängligt i oorganisk form (Robertson & Groffman 2015).

I anaeroba miljöer ställer mikroorganismerna om till att använda nitrat och sulfat i stället för syre i sin respirationsprocess. Detta leder till denitrifikation, där slutprodukten blir kvävgas (N_2) som går tillbaka till atmosfären. Detta är en av de vanligaste orsakerna till kväveförlust i odling (Ashman & Puri 2002).

4.3 Hållbarhet

Ekologisk odling kan vara en bidragande faktor till att de nationella miljömålen i Sverige kan uppfyllas. Bland annat innebär förbudet mot lättlösliga mineralgödsel en minskad risk för övergödning, det kan dock vara ett problem även i ekologisk produktion (Jordbruksverket 2025; Naturvårdsverket 2025b). Kväve är ett av de viktigaste näringsämnena för växter och appliceras därför i stora mängder i hortikulturella system för att upprätthålla stora skördar. Mängden som appliceras överstiger dock ofta växternas behov som fluktuerar under en odlingssäsong. Detta riskerar att resultera i näringsläckage och påföljande negativa miljöeffekter (Girkin & Cooper 2023). Under miljömålet Ingen övergödning beskrivs hur

¹ Heterotrofi definieras som en organisms förmåga att bygga upp sitt cellmaterial genom att använda organiskt material som kolkälla, vilket innebär omsättning av organiskt material från andra organismer (Nationalencyklopedin u.å.b).

näringsläckage från bland annat det svenska jordbruket kan påverka olika ekosystem negativt. I Östersjön är övergödning ett stort hot mot de djur och växter som lever där, då algbloomning kan orsaka syrebrist och förändrade habitat. Det är framförallt kväve och fosfor i för höga halter som orsakar övergödning och i miljömålet specificeras att de största minskningarna behöver göras inom jordbruket för att hejda den negativa utvecklingen (Naturvårdsverket 2025a).

4.4 Abiotiska faktorer

4.4.1 Temperatur och fuktighet

Vetenskapliga försök har visat att odlingsmediets temperatur och fuktighet har stor betydelse för mineraliseringstakten. Vid en lägre fukthalt i jorden förhindras förflyttningen av både det organiska och det oorganiska kvävet som är löst i markvätskan. Den förlorade kontakten mellan organiskt material och mikrobiella samhällen som kan uppstå i torra jordar har stor negativ inverkan på både mineraliserings- och nitrifikationstakten. För hög fuktighet kan dock ha hämmande effekt på nettomineraliseringen; i alkaliska och neutrala jordar påvisades en nedgång i mikrobiell aktivitet på grund av begränsad syretillgång vid en vattenhållande kapacitet över 80% (Fu et al. 2025).

Vid ökad temperatur ökar också mineraliseringstakten, inom ett visst intervall (20–37°C), detta på grund av att enzymer (ureas, proteas, amidas) visar högre effektivitet i sina katalytiska processer där kväve i organiska föreningar bryts ned. Markens hydrotermiska förhållanden samt dess pH kan ses som dominerande faktorer för kväveomsättningsprocesser som ammonifikation och nitrifikation. (Fu et al. 2025).

4.4.2 C:N-kvot

C:N-kvoten är ett mått som kan användas för att räkna ut hur mycket kväve som kommer att mineraliseras, den tas fram genom att dividera mängden kol med mängden kväve i ett material (Ashman & Puri 2002). En för hög C:N-kvot, alltså en låg mängd kväve i förhållande till mängden kol leder till immobilisering av kvävet då mikroorganismerna använder det för att bryta ned kolet (Jansson 1958).

Ett organiskt gödselmedels C:N-kvot kan ge en god bild av hur mycket kväve som kommer att omsättas när materialet används. Det har dock observerats att odlingsmedium med lågt näringsinnehåll kan ha större inverkan på mineraliseringen än vad gödselmedlet som tillsätts har, då det påverkar den totala C:N-kvoten. Det är därför viktigt att ta hänsyn till båda och inte bara titta på gödselmedlets C:N-kvot för att kunna göra en korrekt bedömning av mineraliseringen (Cannavo et al. 2022).

4.4.3 pH

För odling direkt i jord är ett pH mellan 6,5-7,0 optimalt för att hålla så många näringsämnen som möjligt tillgängliga för växterna, och det är detta spann som odlare försöker att hålla (Ashman & Puri 2002). Används substrat som exempelvis är torvbaserat är det optimala spannet lägre, mellan 5,4-6,4 då högre pH reducerar tillgängligheten för vissa mikronäringsämnen (Lindberg & Owen 2018; Othman et al. 2019). Odlingsmediets pH har stor inverkan på dess mikrobiella processer, och därmed på mineraliseringen (Cheng et al. 2013). Omvandlingsprocesserna påverkas dock i motsatta riktningar, sur jord är fördelaktigt för ammonifikation som minskar med ökande pH-värden, medan nitrifikation saktar ned vid sjunkande pH, detta resulterar i en oförändrad nettomineralisering. Att nitrifikation ökar med ökande pH beror på att den miljön gynnar autotrofa² nitrifierare vilket ökar deras effektivitet. Sura jordar hämmar de autotrofa nitrifierarna vilket i sin tur gör att ammonium ackumuleras (Fu et al. 2025).

4.4.4 Specifik yta

Storlek på partikel och därmed dess specifika yta har stor inverkan på materialets möjlighet till mineralisering samt mineraliseringshastigheten, då en större yta möjliggör större interaktion med mikroorganismer (Agehara & Warncke 2005). I en studie av Cai et al. (2016) observerades att jordfraktioner med mindre partikelstorlek hade kapacitet att hålla en större mängd mineraliserbart kväve, vilket i sin tur ökade mängden växttillgängligt kväve signifikant.

4.5 Abiotisk kvävemineralisering

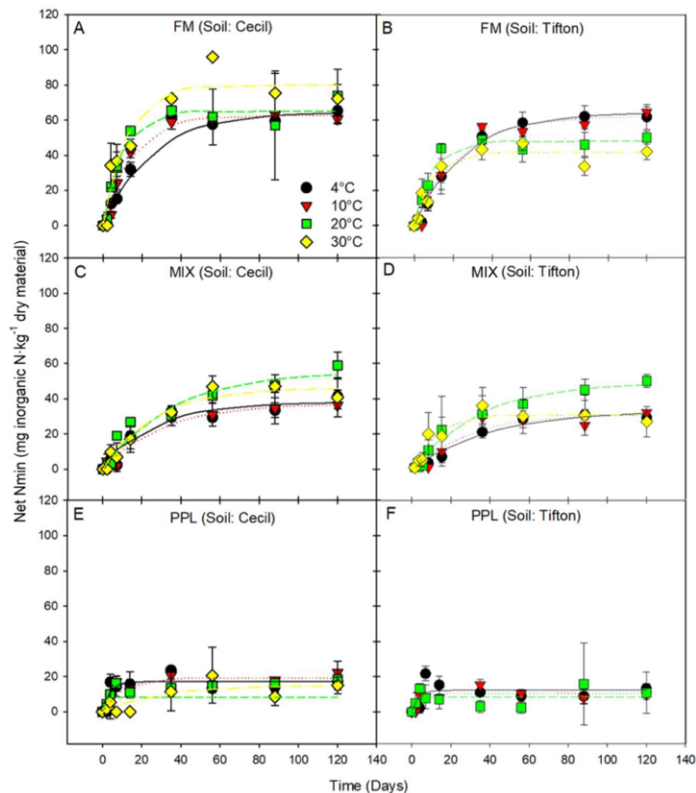
Det är inte bara genom mikrobiell aktivitet som kväve kan frigöras, det finns även strikt abiotiska processer som kan bidra till mineralisering. Experiment har visat att mineraler i jorden såsom järnoxider och manganoxider kan bryta ned proteiner till mindre fragmenterade restprodukter genom hydrolys eller oxidativ klyvning. På detta sätt kan manganoxid (MnO_2) katalysera mineralisering av organiska kväveämnen och därmed frigöra oorganiskt kväve i marken. Detta är beroende av ett visst pH-intervall (mellan 5–8). Det som sker i denna process i stället för att mikrober bryter ned det organiska kvävet är att MnO_2 fungerar som elektronacceptor, och tar upp elektroner från det organiska kvävet vilket initierar mineraliseringen. Detta är särskilt relevant i jordar där redoxförhållanden varierar, då MnO_2 kan ersätta syre i processen när syrehalten är låg, och därmed möjliggöra mineralisering (Hong et al. 2025).

² Autotrofi definieras som en organisms förmåga att själv bilda sitt cellmaterial från oorganiska utgångsmaterial såsom exempelvis oorganiska joner och koldioxid, utan omsättning av organiskt material (Nationalencyklopedin u.å.a).

5. Resultat

5.1 Egenskaper hos organiska gödselmedel

Vilket gödselmedel som används har stor betydelse för hur mycket kväve som kan göras tillgängligt för växterna. I en studie av de Jesus et al. (2024) undersöktes skillnaderna mellan fjädermjöl, pelleterat hönsgödsel och en blandning av fjäder-, ben- och blodmjöl när det gällde mineraliseringstakt och nettomineralisering i olika temperatur- och markförhållanden. Jordtyperna som användes i försöket var en sandig mellanlera och en sandjord med viss finjordshalt, dessa inkuberades tillsammans med olika gödselmedel under 120 dagar. Resultatet visade stora skillnader i mängd kväve som frisattes (Figur 2). Fjädermjölet som till stor del består av keratin och har en låg C:N-kvot visade en hög frisättning av kväve som snabbt blev tillgängligt: 41–77% av kvävet i materialet mineraliserades. Detta skulle kunna innebära risk för näringsläckage om det appliceras som grundgödsling. Detta då plantan riskerar att inte hinna ta upp det tillgängliga kvävet, vilket även kan leda till brist hos plantan senare under växtperioden. Det blandade gödslet visade en lite långsammare nedbrytning, då det innehöll mer stabilt organiskt material än fjädermjölet. Detta resulterade i en mer balanserad mineralisering över tid. I blandningen frisattes 26–59% av kvävet. Det pelleterade hönsgödslet uppvisade en lägre och långsammare mineraliseringstakt, med 0–22% mineraliserat N. Detta på grund av materialets relativt höga C:N-kvot jämfört med de andra som undersöktes, samt dess fysiska form; pellets har mindre specifik yta vilket innebär att det är svårare för mikroorganismer att kolonisera (de Jesus et al. 2024).



Figur 2: Nettomineralisering från fjädermjöl (FM) (A & B), fjäder- ben- och blodmjöl (MIX) (C & D) samt pelleterat höns gödsel (PPL) (E & F) (de Jesus et al. 2024).

Vid ett försök på SLU i Ultuna av Dahlin & Marstorp (2012) undersöktes huruvida grönkompstens sammansättning kunde påverka mineraliseringstakten och därigenom ha inverkan på tidpunkten för kvävet tillgänglighet för växterna. Detta gjordes genom att blanda kväverik grön gödsling med material med stor mängd lättillgängligt kol. Materialen de använde var stjälkar från vitklöver (*Trifolium repens* L.) som blandades med antingen engelskt rajgräs (*Lolium perenne* L.) eller rötter från cikoria (*Chicorium intybus* L.). Försöket innefattade även odling av vallgräs som sedan analyserades för att kunna bestämma växttillgängligt kväve under perioden. En av hypoteserna de undersökte var att det skulle innebära en senareläggning av kvävet frisättning då en större del initialt skulle immobiliseras i processen att bryta ned det kolrika materialet. Resultatet visade att grönkompstens komposition hade stor påverkan på kvävet frisättning och att det var möjligt att senarelägga mineraliseringen för att undvika läckage men att det visade sig komplicerat att styra i praktiken på grund av stor skillnad i väderförhållanden under försöket som påverkade resultatet (Dahlin & Marstorp 2012). Sammantaget indikerar dessa studier att mineraliseringen av kväve i ett material inte bara styrs av dess C:N-kvot utan även av dess sammansättning, i likhet med resultatet hos de Jesus et al. (2024) som observerade en mer balanserad

mineralisering i blandat gödsel bestående av material med olika mineraliseringshastighet.

I en meta-analys gjord av Breza & Grandy (2025) undersöktes 18 studier där isotoputspädnings teknik använts för att kvantifiera mineralisering, nitrifikation och immobilisering som respons på gödsling med organiska och syntetiska näringspreparat. Isotoputspädnings teknik är en vanlig metod för att mäta omsättning av kväve i marken. Det görs genom att tillsätta kväve som är märkt med en stabil isotop; ^{15}N . När jorden sedan inkuberas kommer mineraliseringen som sedermera sker att spåda ut ^{15}N med nytt, omärkt kväve, vilket möjliggör en mätning av bruttoflödena. I resultatet blev det tydliggjort att tillsättningen av organiskt material i form av grüngödsel ökade mineralisering, nitrifikation och immobilisering i de behandlade jordarna. Stallgödsel hade samma effekt på mineralisering men inte på nitrifikation eller immobilisering. Det kan tyda på att det främjar tillgängligheten av ammoniumjoner i jorden men att det också riskerar att leda till läckage då det inte finns samma balans mellan de olika mikrobiella processerna (Breza & Grandy 2025).

I en studie av Lazicki et al. (2020) undersöktes kvävet mineraliseringstakt i olika gödselmedel som är godkända för ekologisk odling. De testade bland annat grönkompost av olika sammansättningar, stallgödsel, pelleterat gödsel, restprodukter från slaktindustri samt ett antal olika flytande gödselmedel. Dessa inkubades under 84 dagar tillsammans med antingen jord från en konventionellt brukad odlingsmark eller en som brukats enligt ekologiska principer i över 10 år. Resultaten visade att C:N-kvoten för de flesta materialen hade stark korrelation med dess mineralisering och kan därmed användas för att göra en grov uppskattning av mängden kväve som kommer att göras tillgängligt för växterna. De flytande gödselmedlens C:N-kvot visade dock väldigt svag korrelation med nettomineraliseringen och kan därmed inte användas för att förutsäga mineralisering. Det kommer sig av dessa medels höga innehåll av kväve som snabbt blir mineraliserat samt att de ofta innehåller väldigt små eller lösliga kolhalter, vilket innebär att mineralisering i flytgödsel främst styrs av total kvävehalt och omgivande faktorer. Nettomineraliseringen som uppmättes i den ekologiskt brukade marken var högre än den i den konventionellt odlade, detta tillskrevs faktumet att den brukats ekologiskt under så lång tid, med ett högre värde av markens halt organiskt kol (38%) som följd. Det observerades även att mineraliseringen i de pelleterade och de blandade gödselmedlen visade stor likhet med resultatet från kombinationer av deras ingredienser, vilket indikerar att bearbetningen till en blandad produkt inte påverkade nettomineraliseringen (Lazicki et al. 2020). Sammantaget med resultatet från de Jesus et al. (2024)

indikerar det att gödselmedlets fysiska form har viss påverkan på mineraliseringstakten men ej i samma grad på nettomineraliseringen.

I ett inkubationsförsök av Dion et al. (2020a) undersöktes hur fem organiska gödselmedel påverkade det mikrobiella samhället och därmed mineraliseringen över tid i en mineraljord och ett torvbaserat substrat. De jämförde blodmjöl, fjädermjöl, pelleterat hönsgödsel, råkmjöl och alfaalfamjöl i kombination med jord respektive torv i växthus under en period av ett år. Hypotesen var att de olika gödselmedlens näringssammansättning skulle påverka deras mineraliseringstakt genom att ha inverkan på det mikrobiella samhället, något som kunde fastslås i resultatet. Alfaalfamjölets höga C:N-kvot med stor andel lösligt kol ökade den mikrobiella aktiviteten vilket ledde till en frisättning av kväve under lång tid. Den ökade aktiviteten medförde dock även ökade förluster i form av kvävgas. Blod- och fjädermjölen uppvisade en snabb och nästintill komplett mineralisering av kvävet, dock utan ökad mikrobiell diversitet. Råkmjölet och det pelleterade hönsgödslet har ett mer välbalanserat näringsinnehåll med andra makronäringsämnen än bara kväve (P, K, Ca) vilket visade sig ha positiv effekt på diversiteten hos mikroorganismer. Slutsatsen i försöket var att ekologiska odlingssystem gynnas av att använda kombinationer av gödselmedel med varierad näringskomposition då de främjar olika mikrosamhällen som fyller olika funktioner (Dion et al. 2020a).

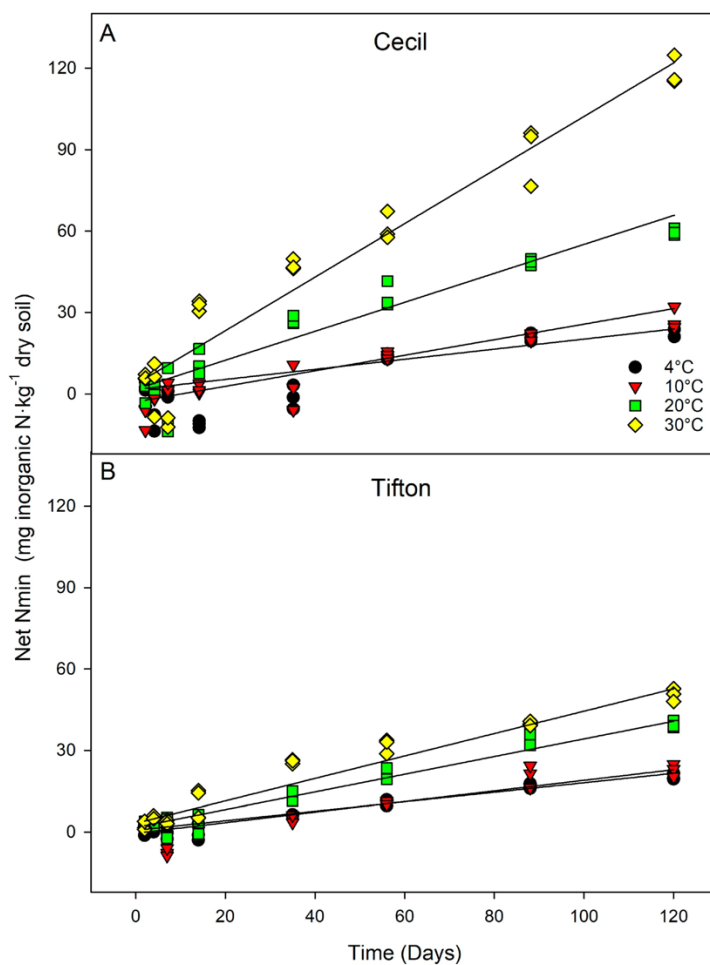
5.2 Temperatur och fuktighet

I ett försök av Chen et al. (2012) observerades att en högre grad av markfuktighet, vid en vattenhållande kapacitet på 75%, resulterade i ökad nettomineralisering. De kunde dock se en ytterligare ökning i jordar som tilläts torka ut mellan vattningar. Detta förklarades med att omstruktureringen då jorden torkade och blöttes på nytt ledde till att fler partiklar blev tillgängliga för kolonisering och stimulerade omvandlingsprocessen (Chen et al. 2012).

Vilken typ av bevattningssystem som används har stor effekt på mineraliseringsförloppet. Det visade Ji et al. (2014) vid ett försök som undersökte kvävemineralisering i växthus där det odlades tomat med 3 olika bevattningsstrategier under en period av sju år. Bevattningssystemen som undersöktes var droppbevattning, bevattning i fåror samt underjordisk bevattning. Efter skörden det sjunde året togs jordprover från de olika testbäddarna som sedan inkuberades och mängden kväve i olika former mättes under 56 veckor. Resultatet visade att droppbevattning ökade mängden mineraliserbart kväve genom att öka kvalitén på det organiska kvävet i det översta lagret jord. Underjordisk bevattning ökade mineraliseringen men ledde samtidigt till ackumulering av nitrat och en sänkning av pH i jorden. Rännbevattning var den teknik som presterade sämst, där

mineraliseringen påverkades negativt; organiskt kväve och nitrat ackumulerades och därmed fanns stor risk för läckage (Ji et al. 2014).

Att mineraliseringen ökar vid högre temperaturer beror både på att den mikrobiella aktiviteten ökar och på att mikroorganismer som främjas av värme då har möjlighet att bryta ned organiska kvävekällor som inte kunde omsättas i lägre temperaturer (Agehara & Warncke 2005). Försök har visat att temperatur påverkar mineraliseringstakten (Figur 3) men utan att resultera i någon märkbar skillnad på den slutliga nettomineraliseringen av kväve. Temperaturen har mer betydelse för tidpunkten då kvävet blir tillgängligt för växterna, då ökad temperatur leder till en snabbare mineralisering initialt (de Jesus et al. 2024).



Figur 3: Nettomineralisering under inkubationsförsök i olika temperaturer med jord tagen från två olika platser; Cecil och Tifton (de Jesus et al. 2024).

5.3 Prediktionsmodeller

Ett sätt att förstå och förutspå mineraliseringen av kväve är att bygga empiriska modeller som innefattar matematiska ekvationer och sedan jämföra resultatet med försöksdata för att validera modellens effektivitet.

För att kunna förutsäga mineraliseringstakten för kväve behöver man specificera vilket antagande som ligger till grund för processen. I statistiska modeller används ofta klimatdata från den specifika platsen i kombination med information om materialkomposition samt tidigare mätningar av mineraliserat kväve i liknande eller samma system för att uppskatta hur mycket kväve som kommer att frisättas (Cannavo et al. 2023). Många av de processbaserade modeller som tagits fram för att förutspå kvävemineralisering har sin bas i första ordningens kinetik som först användes för detta ändamål av Stanford & Smith (1972). Första ordningens kinetik utgår från att det finns en homogen pool mineraliserbart kväve och att storleken på poolen bestämmer mineraliseringstakten. En större pool leder till en snabb mineralisering i början som sedan planar ut i takt med att kvävet omsätts (Dessureault-Rompré et al. 2010). Första ordningens kinetik med två pooler (two pool first order kinetics) utgår från samma antagande om mineraliseringstakten men tar även hänsyn till att det finns olika kvävekällor med olika nedbrytningshastighet beroende på dess sammansättning, alltså både snabbblösliga och långsamverkande kväveformer (Taylor et al. 2021).

Kinetiska modeller är matematiska ekvationer som har utvecklats för att beskriva och förutsäga kemiska processers förlopp över tid. De kan användas för att undersöka kvävemineralisering under kontrollerade inkubationsförhållanden (Camargo et al. 2002; Nationalencyklopedin u.å.c).

I ett försök utfört av Cannavo et al. (2023) jämfördes första ordningens kinetik med en multivariabel statistisk modell för att utvärdera modellernas effektivitet i att förutspå kvävemineralisering i olika kombinationer av substrat och gödselmedel. Studien uppger inte vilka specifika substrat och gödselmedel som användes utan redovisar en analys av de olika materialens egenskaper, där exempelvis dess C:N-kvot framgår. De två gödselmedel som studerades beskrevs som växtbaserat respektive djurbaserat. Input-parametrarna som användes i den statistiska modellen var gödselmedlets kvävehalt samt initialt kväveinnehåll, temperatur och fuktighet i substratet. Replikaten i försöket gavs olika temperatur- och fuktighetsförutsättningar och inkuberades i 49 dagar. Modellernas resultat jämfördes sedan mot faktiska data från en ekologisk odling för att verifiera effektiviteten. Resultatet visade att båda modellerna kunde förutspå mängd mineraliserat kväve på ett tillfredsställande sätt, även om de till viss del överskattade mängden vid låga koncentrationer och låg temperatur. Det observerades även att mineraliseringstakten i försöket var långsammare än den

som uppmätts i tidigare fältförsök i mineraljord, vilket skulle kunna indikera att mineralisering tar längre tid i substrat. Konsekvenserna av det kan vara att det blir mindre risk för läckage men samtidigt större risk för näringsbrist i de faser av utvecklingen där plantan behöver mest kväve. Resultatet visade att den statistiska modellen presterade bättre än den kinetiska i detta försök och kunde förutspå mängd mineraliserat kväve lite mer precist. Första ordningens kinetik används ofta i praktiken och är en välprövad metod, dock är modellerna oftast framtagna för specifika klimatiska förhållanden eller kulturer vilket gör att de är svåra att applicera generellt utan individuella anpassningar. Denna studie visade att både den statistiska och den kinetiska modellen kunde förutspå mängd mineraliserat kväve på en tillräckligt bra nivå när de kalibrerades efter experimentella data, anpassades till de olika substraten och användes under kontrollerade växthusförhållanden (Cannavo et al. 2023).

I ett försök av Cassity-Duffey et al. (2020) undersöktes 22 gödselmedel som används i ekologisk odling för att se om det gick att bestämma mineraliseringstakt och mängd för de olika materialen och även undersöka ifall det kan förutsägas baserat på materialens initiala värden. Materialen inkuberades under optimala förhållanden (temperatur: 30°C; vattenhållande kapacitet: 50%) i 99 dagar och sedan applicerades första ordningens kinetik som modell för att förutsäga mineraliseringsförloppet i de olika materialen. Resultatet som observerades var att kvävemineralisering kan förutsägas med varierande precision, men att modellens träffsäkerhet varierar stort mellan olika material och påverkas av deras initiala egenskaper. C:N-kvoten fungerar som en indikator men är i sig själv inte en tillräckligt tillförlitlig parameter för att användas på egen hand. Studiens slutsats var att första ordningens kinetik kunde användas för att göra en adekvat förutsägelse av kvävemineralisering i olika material om hastighetskonstanten definieras utifrån materialgrupp och det initiala totala kvävet i materialet mäts (Cassity-Duffey et al. 2020).

Camargo et al. (2002) utvärderade olika modellers effektivitet i att beskriva och förutspå mineraliseringsförloppet genom att optimera modellernas parametrar mot en viss inkubationsdata. De undersökta modellerna var alla rotade i första ordningens kinetik-modellen från Stanford & Smith (1972) med olika vidareutvecklade delar. Bland annat utvärderades en modell som tar hänsyn till två kvävepooler, uppdelat på snabblösliga och långsamverkande, med sina egna respektive hastighetskonstanter som illustrerade mineraliseringstakten. Resultatet visade dock att de många parametrarna i jämförelse med de andra simplare modellerna inte ökade effektiviteten tillräckligt för att motivera komplexiteten. Den modell som bedömdes vara mest funktionell var den variant där det mineraliserade kvävet är uppdelat i två delar; en som redan är mineraliserad

initialt och en aktiv fraktion som frigörs gradvis från en organisk pool enligt första ordningens kinetik-modellering.

I ett fältförsök av Delin & Engström (2010) användes en modifierad version av en första ordningens kinetik-modell, där kalendertid ersattes av temperatursumma (growing degree days; GDD) och en separat del för initialt oorganiskt kväve lades till i ekvationen. Olika organiska gödselmedel (kött- och blodmjöl/Biofer, vinass, hönsgödsel, flytgödsel samt fast kogödsel) inkuberades tillsammans med jord och grävdes ned i fält vid olika tillfällen, sedan mättes mineraliseringen ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) under två år. Resultatet visade att Biofer, vinass och hönsgödsel hade goda möjligheter att synkroniseras med kulturens behov då stor del av kvävet var mineraliserat efter cirka 30–50 dagar (cirka 450 GDD). Flytgödslet visade inte på någon anmärkningsvärd mineralisering då stor del av kväveinnehållet redan är i oorganisk form vilket innebär att det behöver appliceras kort innan kulturens behov. Mineraliseringen i det fasta kogödslet visade sig vara komplicerat att synkronisera då den skedde i långsam takt och den initiala mängden växttillgängligt kväve var låg (Delin & Engström 2010).

Sammanfattningsvis visar de studier som granskats att första ordningens kinetik kan beskriva mineraliseringsförloppet tillräckligt tillfredsställande för att fungera som grund för prediktionsmodeller. För att det fullt ut ska överensstämma med processen krävs modifieringar och platsspecifika data som kalibrerar modellen till det material och system den appliceras på.

5.4 Simulationsmodeller

Följande simulationsmodeller är exempel på webbaserade verktyg som odlare själva kan testa med sina egna platsspecifika data. NDICEA är framtagen för frilandsodling och tar hänsyn till hela kvävedynamiken under en odlingssäsong, NLOS-OG är framtagen för ekologisk växthusodling men dess första ordningens kinetik-modell kräver mer av användaren i form av vilken inputdata som behöver tas fram. Båda modellerna kräver mycket indata men skiljer sig åt i vilken typ av data och hur komplicerad den är att producera.

5.4.1 Kvävedynamik i växtföljd inom ekologisk odling (Nitrogen Dynamics in Crop rotation in Ecological Agriculture, (NDICEA))

En modell som tagits fram för att kunna användas i praktiken är NDICEA. Den tar hänsyn till vatten, organiskt material och oorganiskt kväve och används för att möjliggöra en effektivare gödselregim i ekologiska odlingssystem. Modellen utgår från första ordningens kinetik gällande mineralisering, med anpassning för

klimatdata och markförhållanden. Det är en processbaserad simulationsmodell utarbetad för frilandsodling och tar hänsyn till de två översta lagren jord (van der Burgt et al. 2006).

NDICEA möjliggör en uppskattning av växtföljdens och gödslingens effekter på mängden oorganiskt kväve som finns tillgängligt under säsongens olika faser vilket gör att den kan vara ett hjälpmedel i utvärdering av markens långsiktiga näringsnivåer och eventuella kväveförluster (Koopmans & Bokhorst 2002).

5.4.2 Kväveförluster i ekologiska växthus (Nitrogen Losses in Organic Greenhouses (NLOS-OG))

NLOS-OG är en vidareutveckling av olika simulationsmodeller som tagits fram för att beskriva och hantera kvävedynamik i fält. Det är ett webbaserat verktyg framtaget för ekologisk odling i växthus där odlare själva kan mata in sina platsspecifika data och få första ordningens kinetik-ekvationer applicerade på det gödselmedel de vill använda. Likt några av de tidigare nämnda modifieringarna av första ordningens kinetik-modeller har NLOS-OG tagit hänsyn till fraktionen tillgängligt oorganiskt kväve i gödselmedlet vid applikation. För att kalibrera mineraliseringsdelen i modellen krävs dock antingen ett eget inkubationsförsök eller användandet av referensdata för det aktuella gödselmedlet. Saknas dessa kan modellen använda sig av förenklade antaganden baserade på exempelvis materialets C:N-kvot, vilket kan göra modellen mindre precis och platsanpassad. (Dion et al. 2020b).

6. Diskussion

Denna studie har undersökt mineralisering av kväve i ekologiska växthussystem och de faktorer som påverkar processen, samt hur förloppet skulle kunna predikteras och därmed synkroniseras med kulturens behov. Att även inkludera studier som undersöker mineralisering i andra odlingssystem än växthus möjliggör en bredare överblick av forskningen som sker kring mineralisering av kväve. Med det sagt är alla resultat inte helt jämförbara då mineralisering ser olika ut i exempelvis mineraljord på friland och i ett torvbaserat substrat, men det bedömdes vara relevant för studien då metoderna eventuellt skulle kunna anpassas och appliceras på växthusodling. Dahlin & Marstorp (2012) betonar exempelvis att deras resultat påverkades av väderförhållandena under sitt fältförsök. Att göra en liknande undersökning i växthusmiljö med bättre kontroll över abiotiska faktorer skulle möjligen kunna ge mer insikter om hur kompositionen av gröngödsel kan användas som ett sätt att styra kväveomsättningen. De andra inkubationsförsöken, förutom det av Delin & Engström (2010), utfördes under kontrollerade förhållanden, i likhet med hur klimatförhållanden kan styras i ett växthussystem. Fältförsöket av Delin & Engström (2010) inkluderades då det illustrerar de stora skillnaderna i kväve mineralisering mellan olika gödselmedel på grund av deras respektive egenskaper.

En begränsning med den valda metoden var att inget protokoll fördes över sökningarna och de söksträngarna som användes. Att undersökningen inte varit systematisk gör den inte heller möjlig att replikera vilket framför allt blir en begränsning om vidare fördjupning skulle önskas göras. En fördel med att använda AI-baserade sökmotorer var att kunna specificera och utöka sökningen under tiden i de fall då en första söksträng inte genererade träffar som motsvarade det undersökningen gick ut på. Detta gjorde att sökmotorerna fungerade väl som en språngbräda för att hitta artiklar som startpunkt för sökandet.

Första ordningens kinetik har visat sig vara en tillförlitlig modell för att förutspå mineralisering med reservation för att det krävs kalibrering som kan vara komplicerad att utföra. Antagandet om att storleken på poolen mineraliserbart kväve bestämmer omsättningshastigheten initialt stämmer till synes överens med processen i verkligheten, men hur detta implementeras på en praktisk nivå i ekologisk produktion är en kvarstående problematik.

Både NLOS-OG och NDICEA är i grunden baserade på första ordningens kinetik angående mineralisering, men tar även hänsyn till många av de faktorer som påverkar processen, som användaren själv kan mata in som parametrar i modellerna. Hur väl modellerna kan beskriva och förutspå kvävedynamiken i ett

odlingssystem beror på hur specifika parametrar som matas in. Resultaten från Dion et al. (2020b) indikerar att NLOS-OG kan vara ett värdefullt verktyg som stöd för beslut kring gödsling i ekologiska växthus om den kalibreras. Vid sökningar hittades inga uppföljningsstudier eller resultat från professionella odlare som använt modellen. En av de stora skillnaderna mellan modellerna är hur hastighetskonstanten för första ordningens kinetik-ekvationen tas fram. NDICEA använder sig av en databas med förkalibrerade standardvärden. NLOS-OG kräver att användaren själv väljer och matar in ett värde för att ekvationen ska kunna beräknas i modellen. Detta samt den stora mängden annan inputdata som krävs i båda modellerna sänker användbarheten i praktiken. Att utveckla NDICEA-modellen till att även fungera i växthusmiljö skulle kunna vara ett alternativ då den till synes verkar vara mer beprövad än NLOS-OG och därmed har en större mängd standardvärden. Att koppla ihop sensorer med simulationsmodellens datasystem för att möjliggöra automatiserad kalibrering skulle kunna göra den ännu mer användarvänlig och effektiv i sin prognos.

Delin & Engström (2010) visar i sin studie på att valet av gödselmedel kan vara ett sätt att styra synkroniseringen av kvävetillgång med plantans behov. Där blir det också tydligt hur de olika poolerna av kväve i organisk och oorganisk form påverkar mineraliseringsförloppet. De fann att flytgödsel, där merparten av kväveinnehållet redan initialt är i oorganisk form, behöver appliceras kort innan plantans behov för att ej riskera näringsläckage. I likhet med detta fann de Jesus et al. (2024) att fjädermjöl var ett material med snabb omsättning av kväve vilket skulle innebära att det krävs planering likt den för flytgödsel vid användning av detta medel. Detta till skillnad från kogödsel som har en mycket långsammare frisättning och lågt innehåll av växttillgängligt kväve initialt och därmed kan vara mer komplicerat att synkronisera. Resultatet visade att de medel som hade bäst förutsättningar för att kunna linjeras med kulturens behov var vinass, Biofer samt hönsgödsel då det observerades att majoriteten av kvävet i dessa var mineraliserat efter cirka 30–50 dagar. Sammantaget med resultaten från de Jesus et al. (2024), Dahlin & Marstorp (2012) samt Dahlin & Marstorp (2012) visar det på att en gödselstrategi där kombinationer av material med olika mineraliseringstakt används både kan ge en balanserad mineralisering över tid och möjlighet att effektivt tillgodose kulturens behov av kväve under olika tillväxtfaser.

Både Agehara & Warncke (2005) och de Jesus et al. (2024) benämner temperatur som en viktig faktor som kan påverka mineraliseringstakten. En enkel strategi för att synkronisera mineraliseringen med kulturens behov i ett växthus där temperaturen kan styras skulle kunna vara att höja temperaturen något då kulturen går in i en intensiv tillväxtfas för att öka den mikrobiella omsättningen när den behövs som bäst.

Både Cannavo et al. (2023) och Dion et al. (2020a) poängterar i sina diskussioner att få av de studier som görs i ämnet tar hänsyn till växtens inflytande på mineraliseringsförloppet, då inkubationsförsöken görs utan växter närvarande. Plantans upptag av kväve och utsöndring av rotexudat som kan öka mineraliseringen är en viktig del i omsättningen av kväve i rotzonen och skulle behöva studeras mer. Av de övriga studierna som redovisats i resultatet är det bara Dahlin & Marstorp (2012) som inkluderar växten i sin analys av kvävedynamiken. Att som de andra studierna endast utföra kontrollerade inkubationsförsök illustrerar den teoretiska mängden kväve som kan göras tillgängligt medan en inkludering av växter möjliggör en mer komplett bild av hur förloppet ser ut i ett levande system. Det skulle också innebära att modellen behövde kalibreras efter den specifika kulturens fluktuerande behov av kväve i olika faser av utvecklingstiden. Sammantaget med prediktions- och simulationsmodellernas stora krav på inputdata synliggör detta en distans mellan forskning och praktisk odling som skulle behöva göras mindre för att förbättra överförbarheten av forskningsresultat till verkliga odlingssystem.

Att förutspå kvävemineralisering i ett vetenskapligt inkubationsförsök är en sak, och att göra det i praktiken i ett verkligt växthus är en helt annan. Forskningen kring prediktionsmodeller ger viktiga insikter kring mineraliseringsförloppet som är värdefulla för odlare att ha med sig. Att använda sig av många av de nämnda modellerna till vardags i en professionell odling kan dock vara svårt att uppnå i praktiken. Det innebär tidskrävande och potentiellt dyra mätningar och inkubationsförsök för att få fram den data som krävs för att modellen ska vara mer tillförlitlig än enklare metoder baserade på erfarenhet och den information som redan finns tillgänglig för odlaren. Används inköpt gödselmedel kan en viss del av informationen kring komposition och näringsinnehåll erhållas från tillverkaren men då många odlare använder gödsel från den egna gården innebär det att de behöver ta fram data på egen hand. Många av de studier som tagits med i detta arbete betonar vikten av att exempelvis mäta initialt växttillgängligt kväve i gödselmaterialet för att kunna göra en tillförlitlig prediktion. För odlare, oavsett om möjligheten till detaljerad analys och styrning finns eller inte, behövs kunskap om det material som används i det egna odlingssystemet och därmed dess inverkan på mineraliseringen av kväve. Att mäta materialets C:N-kvot, odlingens fukthalt samt temperatur är ett rimligt första steg.

7. Slutsatser

Faktorer som påverkar mineralisering av kväve i ekologiska växthus som redovisats i denna studie är: C:N-kvot, temperatur, fuktighet, pH, specifik yta samt gödselmaterialets och odlingsmediets komposition.

Första ordningens kinetik är en bra grund som kan användas för att ge en bild av mineraliseringsförloppet.

De prediktionsmodeller som undersökts kan vara tillförlitliga och användas för att förutspå mineralisering av kväve men kräver mycket av användaren i form av inputdata.

Kunskap om faktorerna som påverkar mineralisering kan ge bra grund till stöd för produktionsval i ekologisk odling i växthus. Det kan även möjliggöra en bättre synkronisering mellan kulturens behov och mineraliserat kväve än om faktorerna ej beaktas.

Vidare forskning och teknisk utveckling krävs för att ta fram mer användarvänliga och effektiva metoder för att förutsäga mineraliseringsförloppet i växthus och därmed möjliggöra bättre synkronisering mellan kväveomsättning och kvävebehov.

Referenser

- Agehara, S. & Warncke, D.D. (2005). Soil Moisture and Temperature Effects on Nitrogen Release from Organic Nitrogen Sources. *Soil Science Society of America Journal*, 69 (6), 1844–1855.
<https://doi.org/10.2136/sssaj2004.0361>
- Ashman, M.R. & Puri, G. (2002). *Essential soil science: a clear and concise introduction to soil science*. Blackwell Science.
- Breza, L.C. & Grandy, A.S. (2025). Organic amendments tighten nitrogen cycling in agricultural soils: a meta-analysis on gross nitrogen flux. *Frontiers in Agronomy*, 7. <https://doi.org/10.3389/fagro.2025.1472749>
- van der Burgt, G.J.H.M., Oomen, G.J.M., Habets, A.S.J. & Rossing, W.A.H. (2006). The NDICEA model, a tool to improve nitrogen use efficiency in cropping systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 74 (3), 275–294.
<https://doi.org/10.1007/s10705-006-9004-3>
- Cai, A., Xu, H., Shao, X., Zhu, P., Zhang, W., Xu, M. & Murphy, D.V. (2016). Carbon and Nitrogen Mineralization in Relation to Soil Particle-Size Fractions after 32 Years of Chemical and Manure Application in a Continuous Maize Cropping System. Liang, W. (red.) (Liang, W., red.) *PLOS ONE*, 11 (3), e0152521.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152521>
- Camargo, F.A. de O., Gianello, C., Tedesco, M.J., Riboldi, J., Meurer, E.J. & Bissani, C.A. (2002). Empirical models to predict soil nitrogen mineralization. *Ciência Rural*, 32, 393–399.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S0103-84782002000300005>
- Cannavo, P., Recous, S., Valé, M., Bresch, S., Benbrahim, M. & Guénon, R. (2023). Prediction of nitrogen mineralization in organically fertilized growing media for soil-less production. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 186 (5), 532–542. <https://doi.org/10.1002/jpln.202300082>
- Cannavo, P., Recous, S., Valé, M., Bresch, S., Paillat, L., Benbrahim, M. & Guénon, R. (2022). Organic Fertilization of Growing Media: Response of N Mineralization to Temperature and Moisture. *Horticulturae*, 8 (2), 152.
<https://doi.org/10.3390/horticulturae8020152>
- Cassity-Duffey, K., Cabrera, M., Gaskin, J., Franklin, D., Kissel, D. & Saha, U. (2020). Nitrogen mineralization from organic materials and fertilizers: Predicting N release. *Soil Science Society of America Journal*, 84 (2), 522–533. <https://doi.org/10.1002/saj2.20037>
- Chen, Q.-H., Feng, Y., Zhang, Y.-P., Zhang, Q.-C., Shamsi, I.H., Zhang, Y.-S. & Lin, X.-Y. (2012). Short-Term Responses of Nitrogen Mineralization and Microbial Community to Moisture Regimes in Greenhouse Vegetable Soils. *Pedosphere*, 22 (2), 263–272. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(12\)60013-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(12)60013-7)
- Cheng, Y., Wang, J., Mary, B., Zhang, J., Cai, Z. & Chang, S.X. (2013). Soil pH has contrasting effects on gross and net nitrogen mineralizations in adjacent forest and grassland soils in central Alberta, Canada. *Soil Biology and Biochemistry*, 57, 848–857.
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.08.021>
- Dahlin, A.S. & Marstorp, H. (2012). N release pattern from green manures can be modified through species composition. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 62 (7), 659–665.
<https://doi.org/10.1080/09064710.2012.680487>
- Delin, S. & Engström, L. (2010). Timing of organic fertiliser application to synchronise nitrogen supply with crop demand. *Acta Agriculturae*

- Scandinavica, Section B - Plant Soil Science*, 60 (1), 78–88.
<https://doi.org/10.1080/09064710802631943>
- Dessureault-Rompré, J., Zebarth, B.J., Georgallas, A., Burton, D.L., Grant, C.A. & Drury, C.F. (2010). Temperature dependence of soil nitrogen mineralization rate: Comparison of mathematical models, reference temperatures and origin of the soils. *Geoderma*, 157 (3–4), 97–108.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.04.001>
- Dion, P.-P., Jeanne, T., Thériault, M., Hogue, R., Pepin, S. & Dorais, M. (2020a). Nitrogen release from five organic fertilizers commonly used in greenhouse organic horticulture with contrasting effects on bacterial communities. *Canadian Journal of Soil Science*, 100 (2), 120–135.
<https://doi.org/10.1139/cjss-2019-0056>
- Dion, P.P., Thériault, M., Hunt, D., Bittman, S., Pepin, S. & Dorais, M. (2020b). NLOS-OG: a management tool for nitrogen fertilization in organic greenhouses. *Acta Horticulturae*, (1296), 1093–1098.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1296.138>
- Eriksson, J. (2011). *Marklära*. Studentlitteratur.
- EU (2018). Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2018/ av den 30 maj 2018 om ekologisk produktion och märkning av ekologiska produkter och om upphävande av rådets förordning (EG) nr 834/2007.
- Fogelfors, H. (red.) (2015). Mark. I: *Vår mat: odling av åker- och trädgårdsgrödor : biologi, förutsättningar och historia*. 1. uppl. Studentlitteratur. 180–180.
- Fu, Y., Ren, X. & Zhu, B. (2025). Responses of Soil Nitrogen Transformation and N₂O Emission to Soil pH and Hydrothermal Changes. *Agronomy*, 15 (5).
<https://doi.org/10.3390/agronomy15051005>
- Girkin, N.T. & Cooper, H.V. (2023). Nitrogen and ammonia in soils. I: *Encyclopedia of Soils in the Environment*. Elsevier. 142–151.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822974-3.00010-0>
- Hong, J., Zhang, H., Xiao, M., Duan, X., Zhang, M., Yang, L., Fan, H. & Liu, B. (2025). Abiotic Nitrogen Mineralization of Peptone by γ -MnO₂: Effects of Dissolved Oxygen and pH. *Soil Systems*, 9 (4), 123.
<https://doi.org/10.3390/soilsystems9040123>
- Jansson, S.L. (1958). Tracer studies on nitrogen transformations in soil with special attention to mineralization-immobilization relationships. *Kungliga Lantbrukshogskolans Annaler*, 24, 101–361
- de Jesus, H.I., Cassity-Duffey, K., Dutta, B., da Silva, A.L.B.R. & Coolong, T. (2024). Influence of Soil Type and Temperature on Nitrogen Mineralization from Organic Fertilizers. *Nitrogen*, 5 (1), 47–61.
<https://doi.org/10.3390/nitrogen5010004>
- Ji, J., Zhang, Y., Zhang, Y., Yu, N., Zou, H., Li, Y., Liu, S. & Tong, Y. (2014). Soil nitrogen mineralisation dynamics under long-term different irrigation methods in greenhouses. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 63 (sup2), 117–126.
<https://doi.org/10.1080/09064710.2014.884157>
- Jordbruksverket (2025). *Ekologisk produktion*. [text].
<https://jordbruksverket.se/jordbruket-miljon-och-klimatet/ekologisk-produktion> [2026-06-04]
- Jordbruksverket (2026). *Sprida gödsel*.
<https://jordbruksverket.se/vaxter/odling/vaxtnaring/sprida-godsel> [2026-03-31]
- Koopmans, C.J. & Bokhorst, J. (2002). Nitrogen mineralisation in organic farming systems: a test of the NDICEA model. *Agronomie*, 22 (7–8), 855–862. <https://doi.org/10.1051/agro:2002046>

- KRAV (2026a). 4.8 Gödselmedel och jordförbättringsmedel.
<https://regler.krav.se/unit/krav-article/30c762e3-87cc-46c0-9831-5202d5e02568> [2026-06-02]
- KRAV (2026b). 4.11.2 Undantag för odling i avgränsade substrat.
<https://regler.krav.se/unit/krav-regulation/9f209b44-be60-4ff9-9c63-590060480b01> [2026-06-05]
- Lazicki, P., Geisseler, D. & Lloyd, M. (2020). Nitrogen mineralization from organic amendments is variable but predictable. *Journal of Environmental Quality*, 49 (2), 483–495. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20030>
- Lindberg, H. & Owen, W.G. (2018). *Managing substrate pH of soilless substrates*. MSU Extension.
https://www.canr.msu.edu/news/managing_substrate_ph_of_soilless_substrates [2026-04-20]
- Misselbrook, T.H. & Bittman, S. (2022). Field application of organic and inorganic fertilizers. I: *Nitrogen Opportunities for Agriculture, Food & Environment: UNECE Guidance Document on Integrated Sustainable Nitrogen Management*. UK Centre for Ecology & Hydrology.
https://pure.sruc.ac.uk/ws/portalfiles/portal/57331876/UNECE_NitroOpps_Full_High_Res.pdf [2026-04-20]
- Nationalencyklopedin (u.å.a). *NE - autotrofi*.
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/autotrofi?isSearchResult=true> [2026-05-21]
- Nationalencyklopedin (u.å.b). *NE - heterotrofi*.
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/heterotrofi?isSearchResult=true> [2026-05-21]
- Nationalencyklopedin (u.å.c). *NE - reaktionskinetik*.
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/reaktionskinetik> [2026-04-16]
- Naturvårdsverket (2025a). *Ingen övergödning - Sveriges miljömål*.
<https://sverigesmiljomal.se/miljomalen/ingen-overgodning/> [2026-06-04]
- Naturvårdsverket (2025b). *Sveriges miljömål*. <https://sverigesmiljomal.se/> [2026-06-04]
- Othman, Y., Bataineh, K., Al-Ajlouni, M., Alsmairat, N., Ayad, J., Shiyab, S., Al-Qarallah, B. & Hilaire, R.S. (2019). SOILLESS CULTURE: MANAGEMENT OF GROWING SUBSTRATE, WATER, NUTRIENT, SALINITY, MICROORGANISM AND PRODUCT QUALITY. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28 (4)
- Robertson, G.P. & Groffman, P.M. (2015). Nitrogen Transformations. I: *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*. Elsevier. 421–446.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415955-6.00014-1>
- Stanford, G. & Smith, S.J. (1972). Nitrogen Mineralization Potentials of Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 36 (3), 465–472.
<https://doi.org/10.2136/sssaj1972.03615995003600030029x>
- Tate, R.L., III (2020). *Soil Microbiology*. John Wiley & Sons, Incorporated.
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/slub-ebooks/detail.action?docID=6370537> [2026-03-31]
- Taylor, A.E., Ottoman, C. & Chaplen, F. (2021). Implications of the Thermodynamic Response of Soil Mineralization, Respiration, and Nitrification on Soil Organic Matter Retention. *Frontiers in Microbiology*, 12, 651210. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.651210>
- Tittarelli, F., Bath, B., Ceglie, F.G., Garcia, M.C., Moller, K., Reents, H.J., Védie, H. & Voogt, W. (2016). *Soil fertility management in organic greenhouses in Europe*. BioGreenhouse. <https://doi.org/10.18174/373583>
- Ögren, E. (2019). *Växtnäringsstyrning*.
<https://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/p951.html> [2026-04-14]

Bilaga 1

Under litteratursökning med hjälp av perplexity.ai och asta.allen.ai användes följande promptar:

”Hitta vetenskapliga artiklar i ämnet kväve mineralisering i ekologiska växthus, prediction modeling.”

”Hitta vetenskapliga artiklar om kväve mineralisering och hur man kan förutspå det genom att använda NLOS-OG modell/NDICEA”

”Vetenskapliga artiklar om kväve mineralisering i ekologiska växthus, hur man kan förutspå processen och synkronisera tillgängligheten med kulturens behov”

”Hitta en vetenskaplig källa som beskriver first-order kinetics, zero-order kinetics och two pool kinetics gällande kväve mineralisering.”

Vidare förtydligades promptarna baserat på sökresultaten, till att exempelvis endast inkludera resultat från ursprungskällor, verk som utsatts för kollegial granskning samt från vetenskapliga publikationer.

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU kan publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver i sådana fall godkänna publiceringen. I samband med att du godkänner publicering kommer SLU även att behandla dina personuppgifter (namn) för att göra arbetet sökbart på internet. Du kan närsomhelst återkalla ditt godkännande genom att kontakta biblioteket.

Även om du väljer att inte publicera arbetet eller återkallar ditt godkännande så kommer det arkiveras digitalt enligt arkivlagstiftningen.

Du hittar länkar till SLU:s publiceringsavtal och SLU:s behandling av personuppgifter och dina rättigheter på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>

☒ JA, jag, Amanda Ekblom Käck har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

☐ NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse till att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.